

교통 관련 특허, 신기술, 실용실안 소개 (3지교차로 용량증대 운영방안 연구)

I. 서론

1. 연구의 배경 목적

교통흐름을 안전하고 원활하게 처리하기 위해서는 서로 다른 도로가 교차 또는 접속하여 형성되는 교차로를 어떻게 계획·설계하고 운영할 것인가 하는 것이 매우 중요한 과제이다. 교차로에서 교통흐름은 부적절한 기하구조와 신호운영 및 유동적인 교통량의 영향을 받으며, 이로 인한 파급효과는 연계노선 전체 도로의 교통소통에 악영향으로 나타나게 된다.

평면교차로 도류시설물은 교차로 내에서의 주행경로를 명확히 하여 주행의 쾌적성과 소통 원활을 도모하여 운행비용을 절감하고, 교차로 면적의 최소화로 교통안전 도모와 건설비용 최소화 및 보행자의 안전과 편리성 도모를 목적으로 한다. 3지교차로는 기존도로에 새로운 도로가 접속되거나 자연발생적으로 형성되는 경우가 많으며, 교통량, 부적절한 기하구조 및 신호운영으로 그 파급효과는 연계노선 전체 도로의 교통여건에 중요한 영향을 미치게 된다. 특히 차로수가 많은 주도로(왕복6차로 이상)와 부도로(왕복4차로 이하)의 좁은 도로가 접하는 3지교차로의 경우 부도로의 회전교통류 처리를 위해 주도로 교통류 전체가 교차로에서 대기해야 하는 불합리한 문제점을 가지고 있다. 또한 고정신호로 운영되는 3지교차로의 경우 부도로의 교통량 유·무에 관계없이 주도로의 교통류는 의무적으로 부도로 좌회전 신호시 교차로에 정지하게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 입체화, 도류화, 회전통제, 최첨단신호제어시스템 도입 등 도로의 용량을 증대시키고 교통을 좀 더 효율적으로 관리·운영·제어하기 위한 노력이 계속되고 있다.

본 연구는 도로에서 가장 복잡하고 위험요인이 많은 교차로에서의 효율성, 쾌적성 및 안전성을 획기적으로 개선하고, 교차로에서의 혼잡비용과 교통사고 저감을 목적으로 특히 출원된 3지교차로를 소개하고, 실제 3지교차로의 문제점을 분석하여 특허교차로 적용에 따른 개선방안 및 효과를 제시하고자 한다.

2. 연구 대상교차로 선정

연구대상 교차로의 선정은 주도로를 횡단하는 보행교통량이 없거나 침두시와 비침두시 보행교통량의 차이가 현저하면서 주도로와 부도로의 좌회전 교통량이 많아 심각한 지체를 나타내는 지점을 대상으로 하였으며, 부도로 좌회전 교통류 처리를 위해 기존 차로폭 등을 조정하여 좌회전수용차로¹⁾를 추가로 확보할 수 있는 지점을 선정하여 비교·분석하였다.

II. 3지교차로 차로운영 개선

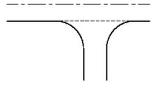
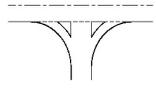
1. 교차로의 특징 및 도류시설물

교차로란 2개 이상의 도로가 교차 또는 접속되는 공간 및 그 내부의 교통 시설물을 말하는 것으로 교차로의 기하구조, 운영방법 등에 따라 운전자가 노선 선정을 위해 의사결정을 하게 되는 지점이다. 따라서 교차로는 정상적인 교통의 진행뿐만 아니라 횡단, 회전 등이 발생하여 도로의 다른 부분보다 복잡한 운행으로 교통정체 및 사고가 일어나기 쉬운 곳이다.

특히 좁은 차로의 교차로에서는 대형자동차가 좌회전시 대향차로를 침범하여 대향차로에서 대기하는 자동차와 충돌할 가능성이 높다. 물방울 교통섬은 대향차로를 침범하는 것을 방지할 뿐 아니라, 큰 물방울교통섬의 경우는 부도로에 교차로 진입각을 좁으로써 기하구조적으로 부도로에서 교차로로 진입하는 자동차가 과속을 하지 못하도록 한다. 간이 물방울교통섬은 넓은 노면표시로 대향차로를 구분한 것으로 대형자동차가 교차로 회전시간이 물방울교통섬을 밟고 지나가도록 설계한 것이다.

1) 좌회전수용차로란, 부도로 좌회전 교통류를 수용하기 위해 주도로에 추가적으로 설치하는 차로

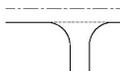
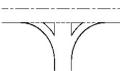
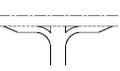
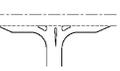
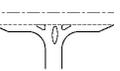
〈표 1〉 도류시설물의 종류

유형	작은 곡선 적용	삼각교통섬 설치	삼각교통섬 + 물방울교통섬 설치	
도로 모통 이의 설치	유형(I)  예) R=8m	유형(II)  예) R2=15~30m	-	
변속 차로 설치		유형(III)  예) L=50m, R2=15~30m	유형(IV)  예) L=50m, R=25m 삼각교통섬 + 간이 물방울교통섬	유형(V)  예) L=50m, R=25m 삼각교통섬 + 큰 물방울교통섬

자료 : 건설교통부 『평면교차로 설계 지침』, 2004. 12

도류시설물은 도로위계별로 〈표 1〉과 같이 적용한다. 여기서 지방지역의 국도에 적용 가능한 큰 물방울교통섬을 적용한 도류시설물은 세미트레일러의 진출입이 많은 공장지역의 3지교차로에 설치하는 것을 원칙으로 교차로 설치용지가 확보될 때 설치한다. 또한 간이 물방울교통섬은 노면표시만으로 대향차로의 구분을 한 것으로 4지교차로의 경우 또는 교차로 용지의 확보

〈표 2〉 도로위계별 도류시설물 선정

도로 구분		유형	유형(I)	유형(II)	유형(III)	유형(IV)	유형(V)
							
지방 부	국도		⊗	⊗	●	●	●
	지방도		⊗	●	●	●	●
	군도		⊗	●	●	◐	⊗
	농어촌도		●	●	⊗	⊗	⊗
준 도 시 부	중로		◐	●	●	⊗	⊗
	소로		●	●	⊗	⊗	⊗
			● 적용가능	◐ 제한적 적용	⊗ 원칙적으로 적용하지 않음		

자료 : 건설교통부 『평면교차로 설계 지침』, 2004. 12

가 곤란한 경우에 적용한다.

도로위계별로 큰 물방울교통섬의 적용은 세미트레일러의 진출입이 많은 공장지역 중 용지 확보가 가능한 3지교차로에 설치하는 것을 원칙을 하고, 간이 물방울교통섬은 노면표시만으로 대향차로의 구분을 한 것으로 4지교차로의 경우 또는 교차로 용지의 확보가 곤란한 경우에 적용한다.

2. 특허교차로 소개

교차로에서 좌·우회전 차량이 직진차량의 통행을 방해하지 않도록 하는 것이 교통안전과 교통소통상 매우 중요하다. 특히, 설계속도가 높은 도로일 수록 회전차량으로 인한 사고는 많아지며 사고피해도 크게 되므로 직진차로를 침범하지 않게 회전할 수 있도록 함이 중요하다. 이와 같이 좌·우회전 차량이 본선에서 주행하는 직진 교통량에 미치는 영향을 최소화하기 위해서는 교차로에서 좌·우회전 차량의 확보는 매우 중요하다.

교차로에서 한쪽방향 차량이 진행하고 있는 동안에는 다른 방향 도로의 차량은 운행이 불가능하며, 대기차량이 정지 상태에서 출발함으로써 발생하는 손실 등을 고려하면 도로의 일반구간에 비하여 그 용량이 매우 작아지게 된다.

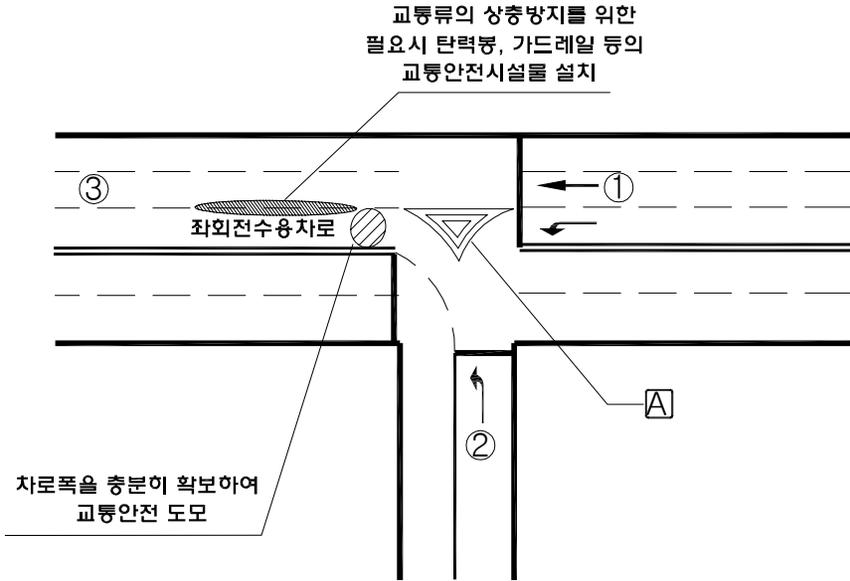
3지교차로에서 주도로의 직진차량이 부도로의 좌회전신호에 의해 정지함에 따라 교차로의 교통처리능력이 저하되고, 정차와 발차의 반복으로 인한 불필요한 연료소비 및 배기가스 방출로 대기오염과 기후온난화에 상당한 영향을 끼치게 된다.

따라서 이러한 교차로에서의 문제점을 해결하기 위해 <그림 1>²⁾ 특허교차로에 대해 설명하기로 한다.

특허교차로의 적용시 신설교차로의 경우 좌회전수용차로를 설치하기 위한 공간을 계획단계에서 미리 확보할 수 있지만, 기존교차로를 개선할 경우에는 차로폭 조정 또는 추가 용지의 확보가 필요하다.

- 부도로(②) 교통류 좌회전과 주도로(①) 교통류 동시 신호 적용
- 부도로(②) 좌회전 차로수만큼 주도로(③)에 좌회전수용차로 확보

2) 특허 제 10-0768751호, 발명자 : 서영진, 특허권자 : 주식회사 서영엔지니어링
발명의 명칭 : 3지교차로 및 3지교차로의 신호제어방법



〈그림 1〉 특허교차로 개념도

- 좌회전수용차로는 설계기준 자동차의 궤적을 고려하여 대형차량이 많은 경우 안전하게 회전할 수 있도록 확폭
- 교차로 진입전 LCS(Lane Control System) 또는 노면표시로 운전자의 차로선택을 명확히
- 주도로를 횡단하는 보행자가 많지 않을 경우 Push-Button과 Staggered 횡단보도를 설치하여 보행자 신호에 의한 주도로(①) 교통류의 정지 횟수 최소화
- 직진교통류와 좌회전교통류가 동시에 진행함에 따라 좌회전 수용차로에는 일정구간 탄력봉 등을 설치하여 갑작스러운 차로변경 방지
- 교차로내(A) 직진교통류(①)와 좌회전교통류(②)의 상충방지를 위해 안전지대표시나 교통안전시설(방호울타리, 시선유도시설, 충격흡수시설 등)을 설치하고, 야간 교통안전을 위해 차로분리시설에는 방편망을 설치
- 좌회전수용차로는 다음교차로와 거리가 짧은 경우 계속 유지하는 방안과 가속차로 설치방법("도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙"의 설계속도에 따른 가속차로 설치 기준)을 적용하여 우합류하는 방안이 있음

3. 3지교차로의 문제점 및 개선방안

1) 부도로에 의한 주도로의 지체

도시부나 지방부에서의 교차로 형성은 필연적이지만, 차로수가 넓거나 교통량이 많은 주도로와 1~2차로로 구성된 교통량이 많지 않은 부도로로 연결되는 3지교차로가 많아 운영측면에서 비효율적인 경우가 많다.

주도로를 횡단하는 보행자가 거의 없고, 부도로의 좌회전 교통량이 많지 않지만 고정적으로 보행신호나 부도로의 좌회전신호가 점등됨에 따라 주도로교통류의 가다서다(go-stop) 반복에 따른 자동차배출가스 증가, 교통흐름 단절의 반복으로 교차로 용량감소의 원인이 되고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 최첨단신호시스템을 도입하고 있지만 투자 대비 교통량이 많은 도심에서는 spill-back 등에 의한 효과저감으로 도입의 딜레마에 있다. 또한 상충되는 교통류를 공간적으로 분리하기 위해 주 교통류의 입체화를 고려하지만 도시미관 저해 및 공사비 증가의 문제점을 가지고 있다.

특히교차로 적용을 위한 개선 대상지점으로 월곶IC삼거리(시흥시)와 양재 시민의숲삼거리(서울시)를 선정하였다.

오전 첨두시 월곶IC삼거리의 심각한 과포화 영향으로 400m 상류부에 있는 월곶입구삼거리까지 심각한 spill-back현상과 영동고속도로에서 시화공단으로의 좌회전 대기행렬에 의해 영동고속도로 본선까지 영향을 주고 있다.

양재 시민의숲삼거리는 대부분의 3지교차로와 마찬가지로 부도로(4차



〈그림 2〉 spill-back에 의한 부도로 통행 장애와 부도로 좌회전시 주도로의 대기현상

로) 좌회전시 주도로(10차로) 교통류 전체가 교차로 정지선에 대기해야하는 문제점을 가지고 있으며, 주도로의 모든 차량이 정지선에 대기하고 있지만 양재IC방면 좌회전시 우측 버스전용차로에서 여유차로를 이용하려는 심리 때문에 버스가 교차로에 진입하고 있다.

2) 3지교차로의 개선방안

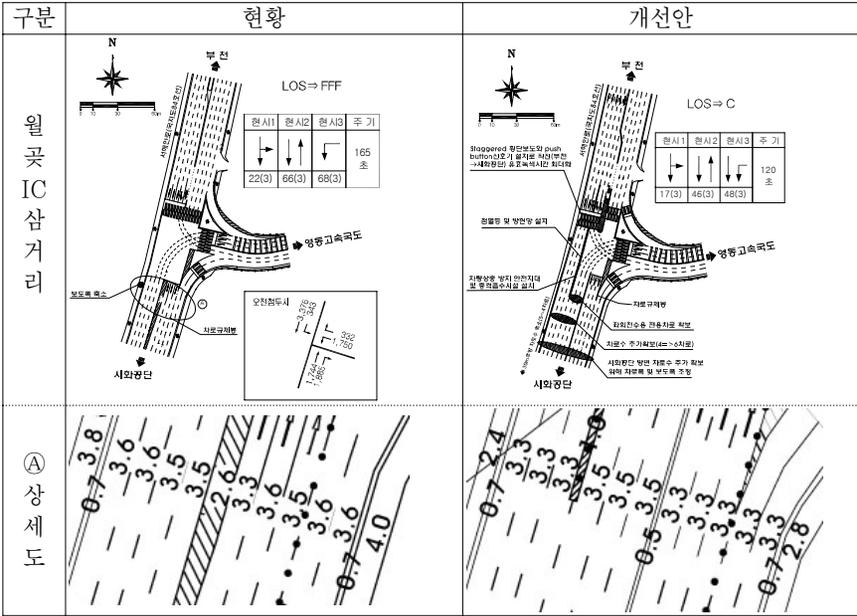
교차로 입체화는 도시미관 저해 및 공사비 증가의 문제점이 있어 평면교차로에서 상층 교통류를 효과적으로 처리하는 계획이 필요하다.

월곶IC삼거리의 오전 첨두시는 교차로 처리용량을 초과하는 교통량이 일방향(시화공단 방면)으로 집중됨에 따라 상류부의 월곶입구삼거리와 영동고속도로 본선까지 영향을 끼치고, 양재 시민의숲삼거리에서는 부도로의 좌회전시 주도로의 모든 차량이 정지선에 대기하고 있어 이를 효과적으로 처리할 수 있는 개선방안이 필요하다

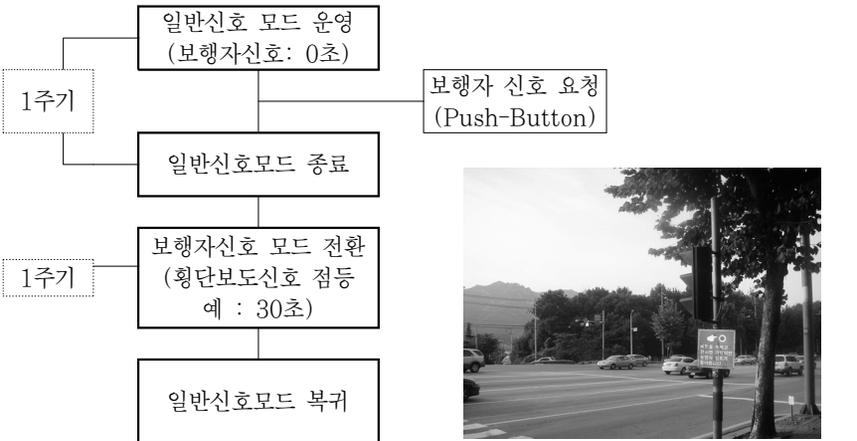
특히교차로에서 좌회전수용차로 설치는 기존 차로폭을 조정하여 접근로 차로수와 균형을 유지하였으며, 좌회전수용차로의 연장은 다음 교차로까지 계속 확보하는 방안과 좌회전수용차로에 진입한 차량이 가속하여 본선에 합류할 수 있도록 단계적으로 차로수를 줄이는 방안(“도로의 구조·시설기준에 관한 규칙” 가속차로 설치 기준 적용)이 있는데 이는 지역여건과 교통특성을 고려하여 적용한다.

(1) 월곶IC삼거리 현황 및 개선안

- 부천→시화공단 방면 교통류 多 : 부천방면 월곶입구삼거리 이후까지 대기행렬 발생(대기행렬길이 600m 이상)
- 영동고속도로→시화공단 교통류 多 : 월곶IC의 대기행렬이 영동고속도로 본선까지 영향
- 차로폭(3.3m ~ 3.6m)과 보도폭(4.0m)을 조정하여 좌회전수용차로 및 중앙분리대 설치 공간 확보
- 횡단보행자가 없는 경우가 대부분이므로 보행자용 Push-Button 설치



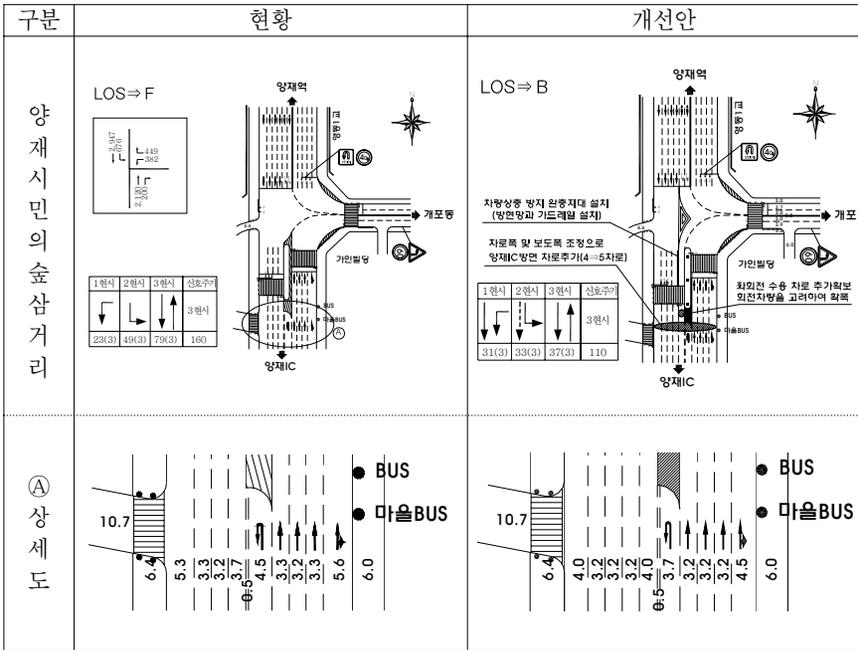
〈그림 3〉 월곶IC삼거리 개선전·후 상세도면



〈그림 4〉 교차로에서의 신호운영 전략과 Push-Button 적용교차로(과천시)

(2) 양재 시민의숲삼거리 현황 및 개선안

- 양재대로 동서방향 비침두시에는 보행자가 없는 경우도 있지만 침두시 횡단보행자 20인/주기 이상 발생



〈그림 5〉 양재 시민의 숲삼거리 개선전·후 상세도면

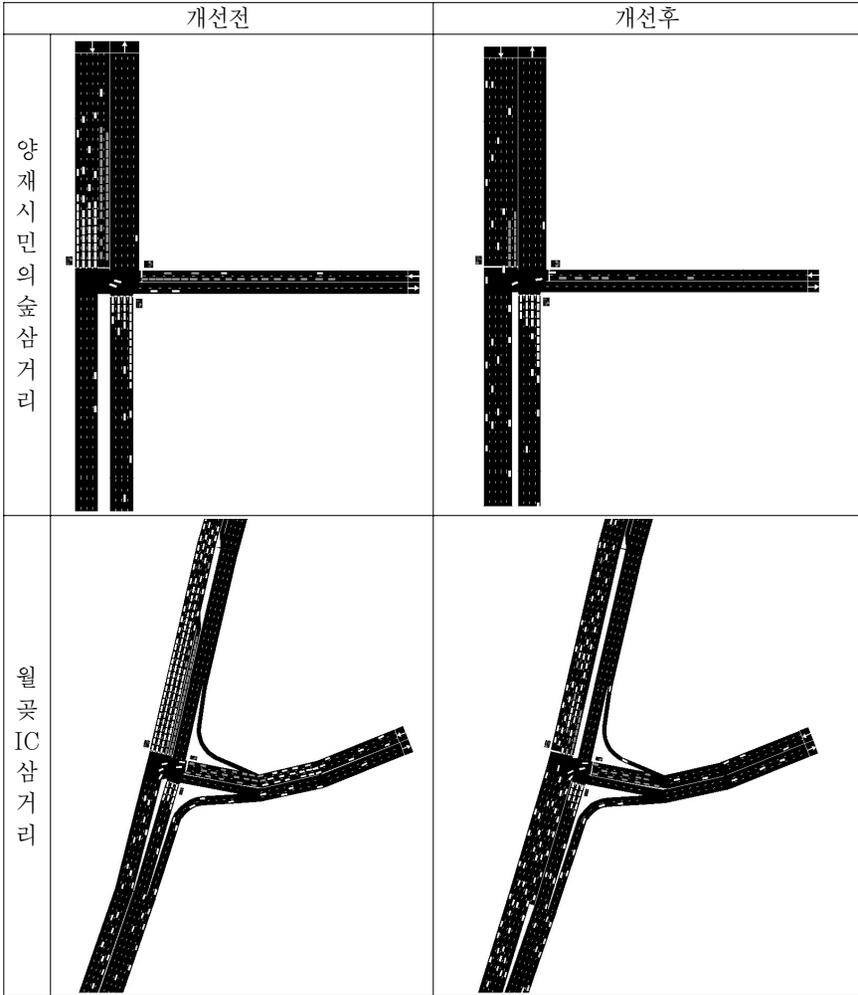
- 차로폭 3.2m ~ 5.6m(외측차로 5.6m로 광폭화), 보도폭 6.0m ~ 6.4m
- 차로폭과 중앙분리대폭을 조정하여 좌회전수용차로 확보

4. 특허교차로 적용전·후 효과 분석

1) TSIS-Simulation 분석결과

TSIS-Simulation을 이용하여 특허교차로 적용전·후 효과 분석 결과, 주도로와 부도로에서의 대기행렬길이가 상당히 줄어들고 통행속도가 향상 되는 것으로 나타났다.

특허교차로 적용 전·후 시뮬레이션 분석결과, 양재 시민의 숲삼거리보다 월곶IC삼거리의 통행속도 변화가 큰 것으로 나타났으며, 통행속도의 개선 효과는 65%~214%까지 다양하게 나타났다.



〈그림 6〉 TSIS-Simulation 분석 결과

〈표 3〉 통행속도 분석 결과

구분		통행속도(km/h)			개선 효과
		개선전(a)	개선후(b)	b-a	
월곶IC 삼거리	부천→시화공단	12.8	39.8	27.0	211 %
	영동고속도로→시화공단	29.0	47.9	18.9	65 %
시민의숲 삼거리	양재역→양재IC	11.4	21.1	9.7	85 %
	개포동→양재IC	6.3	19.8	13.5	214 %

2) 통행속도 증가에 따른 경제적 효과

도로시설 투자 사업이 가져오는 편익은 크게 직접편익과 간접편익으로 구분한다. 직접편익은 다시 사용자 편익과 비 사용자 편익으로 구분하는데, 사용자 편익은 도로 사용자가 운전 중에 얻게 되는 경제적·시간적 및 심리적 요소들을 포함한다. 그러나 특히교차로 적용에는 현실적으로 계량화가 가능한 통행시간가치만을 적용하여 통행속도 증가에 따른 경제적 효과를 분석하기로 한다.

교차로 개선에 따른 효과 분석결과(교차로 개선에 따른 공사비 제외), 월곶IC삼거리 1,767백만원/년, 양재시민의숲삼거리는 612백만원/년의 혼잡비용 개선효과가 있는 것으로 분석되었다.

〈표 4〉 차종별 1대당 통행시간가치

구 분	승용차		버스			트럭
	업무	비업무	업무 (운전자)	업무	비업무	업무 (운전자)
통행목적비율	19.5%	80.5%	16.4%		83.6%	100.0%
재차인원 (인)	0.304	1.253	1.000	0.637	8.343	1.000
시간가치 (원/인)	15,485	5,064	13,009	15,485	2,524	11,913
목적별·차량당 시간가치 (원/대)	4,702	6,348	13,009	9,860	21,058	11,913
차량당 시간가치(원/대)	11,049		43,927			11,913

자료 : 건설교통부 『교통시설 투자평가 지침』, 2007. 12

〈표 5〉 통행속도 분석 결과

구분	월곶IC삼거리		시민의숲삼거리	
	부천 → 시화공단	영동고속도로 → 시화공단	양재역 → 양재IC	개포동 → 양재IC
교통량(대/시)	3,376	1,750	2,947	382
시간절감(초/대)	27	18.9	9.7	13.5
시간절감(시간/년)	102,687	37,260	32,203	5,810
승용차	85,747	31,114	21,621	3,901
버스	4,612	1,673	4,783	863
트럭	12,328	4,473	5,799	1,046
개선효과(백만원)	1,297	471	518	93
개선효과 계(백만원)	1,767		612	

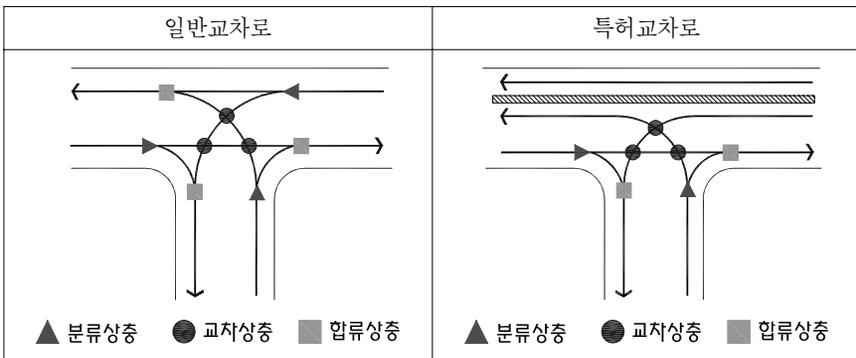
3) 교차로에서의 상충지점 감소에 따른 안전성 향상

교통사고의 60%가 교차로 및 그 부근에서 발생하고 있는 것으로 알려지고 있으며 교통정체의 대부분이 교차로 전방에서 일어나고 있다.

도심부에서의 3지교차로는 대부분 신호교차로로 운영되기 때문에 교통사고의 위험은 많지 않으나, 지방부의 마을 진입로와 연결되는 3지교차로는 토지이용현황과 교통량에 따라 주이동류의 지체나 교통사고 등에 많은 영향을 미친다.

교차로 형태별 차량 간 상충지점의 비교는 <그림 7>과 같다. 일반교차로는 이동류를 방향별로 분리하므로 3지교차로인 경우 9회의 상충이 일어나는 반면, 직진차로와 회전차로를 분리할 경우 7회의 상충이 발생한다. 기존 교차로 상에서의 상충은 분류·합류·교차상충에 의해 각각 3회 발생한다. 반면, 특허교차로는 주이동류에서 분류와 합류상충이 각각 1회씩 줄어 차량 간 충돌가능성이 줄어들어 그만큼 사고발생 위험이 감소하게 된다.

- 일반 평면교차로보다 차대차 혹은 차대보행자와의 상충 지점 감소
- 교차로 진입부와 교차로 내에서 감속 운행
- 교차로를 통과할 때 대부분의 운전자가 비슷한 속도로 주행



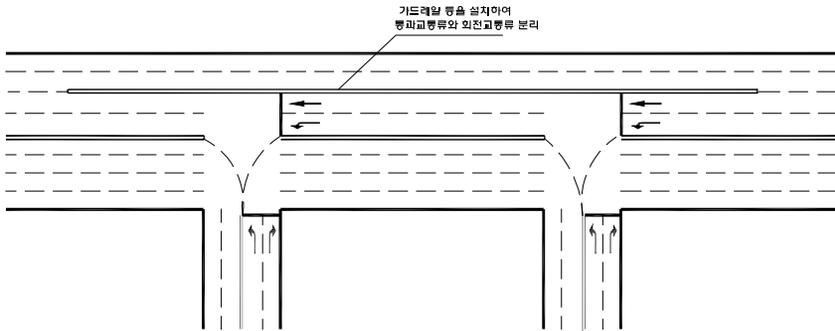
<그림 7> 특허교차로 적용 전·후 상충의 변화

5. 특허교차로 적용 범위 및 효과

특허교차로는 도로 신설시 3지교차로에 적용하거나, 부도로의 좌회전과

같은 방면의 주도로 교통량이 많아 교차로 지체가 심각한 지역에 적용하면 효과적이라 판단된다. 또한 보행자가 없는 지역에서 주도로의 연속류를 유지하기 위해 3지교차로를 입체화할 필요가 있는 지역의 경우 평면교차로에서 일방향은 연속류로 유지할 수 있는 장점이 있어 경제적으로나 도시미관상 우수하며, 적용 가능한 3지교차로의 범위는 다음과 같다.

- ① 차로수가 적은 부도로와 다차로의 주도로가 교차하는 지역
- ② 주도로의 교통량과 부도로의 좌회전 교통량이 많아 입체화가 요구되는 지역
- ③ 교차로 교통량이 입체교차로 설치기준에는 미달하지만 평면교차로 처리 용량을 초과하는 중간단계 지역
- ④ 주도로를 횡단하는 보행자가 없거나 특정시간대에 보행자가 발생하는 지역(Push-Button 설치)
- ⑤ BRT 계획시 교차로에서 버스우선 신호 처리가 필요한 지역
- ⑥ 가로변 버스전용차로 또는 버스중앙차로에서의 좌회전 허용 필요 구간
- ⑦ 연속된 3지교차로가 인접하여 부도로의 좌회전 허용이 어려운 지역



〈그림 8〉 연속된 3지교차로에서의 적용

서두에서 언급한 물방울교차로는 안전측면을 고려한 계획이었지만, 본 특허교차로 적용시 안전측면뿐만 아니라 경제적·환경적 측면에서 아래와 같은 장점이 있다.

- ① 교차로 용량증대

- 신호주기 감소 및 일방향 유효녹색시간 증가
- 주교통류 일방향 연속류 효과
- ② 상충지점 감소
 - 상충 지점이 9개에서 7개로 감소
- ③ 안전성 향상
 - 직진과 좌회전교통류의 상충횟수 감소로 교통사고 감소
 - 분리된 차로 일방향 딜레마 존(Dilemma zone) 제거
- ④ 평균통행속도 개선
 - 분리된 주도로 일방향 교통류 연속류 효과로 평균통행속도 향상
 - 교차로에서의 가다서다(go-stop) 감소로 교통혼잡 개선
- ⑤ 대기질 개선
 - 교차로에서의 정차빈도 및 연료소모량 감소로 인한 자동차 배출가스 감소
- ⑥ 공사비 절감
 - 입체교차로 대체에 따른 공사비 절감

III. 결론

본 연구는 광로 이상의 도로와 중로 이하의 도로가 접속하거나, 횡단보도가 없는 3지교차로에서 교통류를 공간적으로 분리하여 교통 처리를 최대화 하는데 목적이 있다. 지역에 따라 시간대별 교통특성(교통량 및 보행량)이 달라 신호운영전략과 Push-Button 설치 여부는 현장 상황을 분석하여 적용할 필요가 있지만, 교통사고 감소, 상충지점 감소, 용량증대, 주도로 일방향의 연속류 유지를 위해 특허교차로의 적용은 입체화를 대체할 수 있는 최적의 교차로라 할 수 있다.

본 특허는 3지교차로 및 3지교차로의 신호제어방법에 관한 것으로 3지교차로 적용에 따른 효과를 구체적으로 설명하면,

- 3지교차로의 신호주기를 단축하고 교차로 기하구조의 개선으로 교차로 서비스수준 향상
- 도로신설시 입체교차로를 대체함에 따른 공사비 절감
- 교차로 처리용량 증대와 신호주기 단축으로 차량의 통행속도 향상

- 상충횡수의 감소에 따른 교통사고의 감소
- 불필요한 정차와 발차 횡수 감소로 대기질 개선효과 및 자동차 연료소모량 감소 등의 효과가 예상된다.

또한 연속된 3지교차로 및 버스중앙차로 구간에서 승용차 좌회전 교통을 원활히 처리할 수 있어 교통Network 체계상 균형적인 흐름을 유지할 수 있을 것으로 기대되며, 교차로에서 반복되는 가다서다(go-stop)로 인한 교통소음·공해가 심각한 상황에서 환경 친화적인 교차로 개선으로 기대된다.

고유가, CO₂배출 감소 및 지구온난화에 대한 대처를 위해서는 단속류의 원인인 교차로에서의 잦은 지정체를 최소화할 필요가 있으며, 현재 특허교차로를 일부지역 도로설계에 적용하고 있지만 보다 적극적인 연구로 3지교차로에 적용하여 교통혼잡 완화 및 교통소음·공해를 개선에 많은 도움이 되었으면 한다.

향후 주변토지이용과 교통체계, 첨두시, 비첨두시 등을 고려한 시간대별로 신호운영전략과 기하구조 형태의 Case를 검토하여 현장 적용에 대한 준거를 연구할 필요가 있다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000), 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침.
2. 건설교통부(2004), 평면교차로 설계지침.
3. 건설교통부(2005), 도로용량편람.
4. 건설교통부(2005), 입체교차로 설계지침.
5. 건설교통부(2007), 교통시설 투자평가지침.